

Odkrycie przez Rutherforda, że atomy składają się z ciężkiego i małego jądra oraz leciutkich elektronów krążących w niebotycznych od niego odległościach oraz że panuje w nich niewyobrażalna pustka (MT 07/07) otworzyło fizykom drzwi, jakich do tej pory nie tylko nie umieli otworzyć, ale nawet nie wiedzieli, że istnieją. Samo wyobrażenie, że ten mityczny wręcz atom możemy w końcu wykryć i w dodatku zbadać jego zaskakującą strukturę, było dla naukowców początku XX wieku tak samo podniecające, jak odkrycie, że Wszechświat się rozszerza. I gdy wydawało się, że w końcu udało nam się złapać przyrodę za sukienkę, jak zwykle okazało się, że odkrycie prowadziło do kolejnych pytań, na które odpowiedź wydawała się jeszcze trudniejsza.



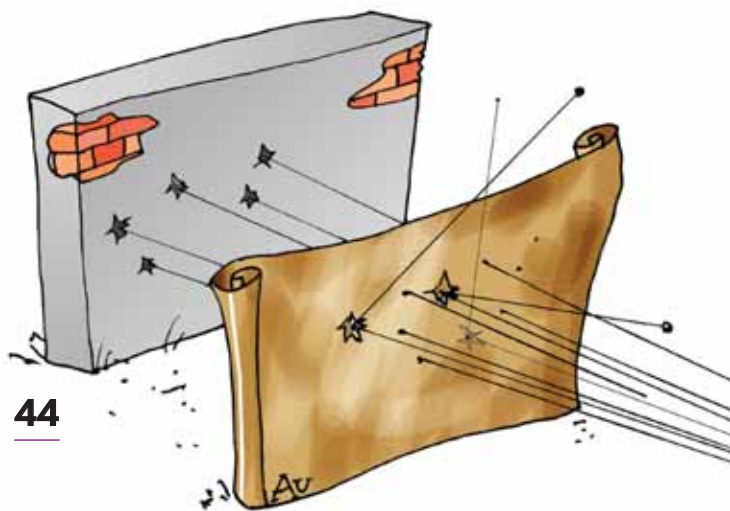
Tomasz Sowiński w 2005 roku skończył z wyróżnieniem studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w zakresie fizyki teoretycznej. Obecnie jest asystentem w Centrum Fizyki Teoretycznej PAN. Z zamiłowaniem zajmuje się popularyzacją nauki.

W roku 2005 był nominowany do nagrody w konkursie Popularyzator Nauki organizowanym przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji oraz Polską Agencję Prasową.

Tomasz Sowiński

Atom Rutherforda nie może istnieć!

Zasadniczy problem można streścić do jednego zdania, które wynikało z ówczesnej wiedzy: „Jeśli atomy mają taką strukturę, jak przewiduje teoria Rutherforda, to atomy **NIE ISTNIEJĄ!**”. Rozwiązania wydają się dwa: albo atomy nie istnieją, albo teoria Rutherforda jest błędna. Okazuje się, że przyroda znalazła **trzecią drogę!** Ale zacznijmy od początku i opowiedzmy, skąd w ogóle ten problem się bierze...



KLASYCZNY ATOM RUTHERFORDA

Przypomnijmy, że model atomu Rutherforda nie był wymysłem czysto teoretycznym, ale próbą wyjaśnienia eksperymentów, które przeprowadził jeden z jego studentów (MT 07/07). Z doświadczeń tych wynikało bowiem, że model atomu Thomsona (ciasto z rodzynkami) nie może być prawdziwy, bo nie byłoby to zgodne z tym, co widzimy w pomiarach rozpraszania cząstek α na złotej folii. Z jednej strony gros tych cząstek przechodzi przez folię właściwie tak, jakby w ogóle folii nie było na drodze. Z drugiej strony jednak zawsze istnieje parę cząstek, które przechodząc przez folię, zmieniają swój tor ruchu, a część z nich odbija się dokładnie w przeciwną stronę niż piłka od ściany. Te właśnie fakty doświadczalne zmusiły Rutherforda do przemyślenia całej sprawy i ostatecznie doprowadziły do nowej hipotezy o strukturze subatomowej.

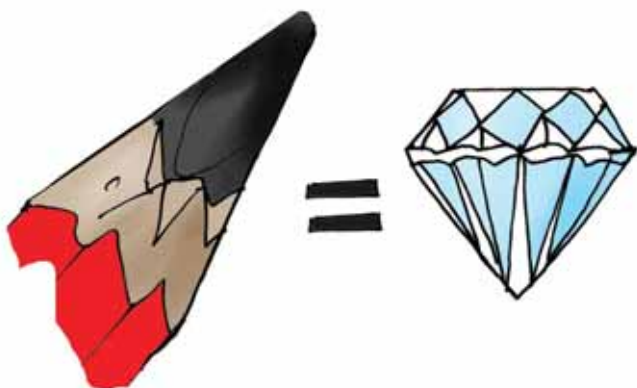
Okazuje się, że jedynym rozwiązaniem teoretycznym, który byłby zgodny z eksperymentami nad rozpraszaniem cząstek α na złotej folii, jest założenie, że atom składa się z dodatnio naładowanego jądra, które znajduje się w środku atomu i gdzieś wokół nie-

go rozłożonych elektronów. Jądro jest bardzo masywne, ale jednocześnie zajmuje znikomą część całego atomu.

NOWE MOŻLIWOŚCI ZROZUMIENIA

Koncepcja budowy atomu zaproponowana przez Rutherforda bardzo szybko przypadła światu naukowemu do gustu. Oprócz tego, że dobrze tłumaczyła eksperymenty nad rozpraszaniem, to miała tę wielką zaletę, że była prosta i klarowna. Pozwalała też wspiąć się na kolejny etap rozumienia własności materii na bazie jej struktury. Do tej pory musieliśmy się zmagać z setkami różnych atomów i tysiącami ich izotopów. Wiedzieliśmy, że coś je łączy, bo udało się usystematyzować ich własności w tablicy Mendelejewa. Nikt nie miał jednak zielonego pojęcia, co jest odpowiedzialne za ten porządek w tym wielkim chaosie.

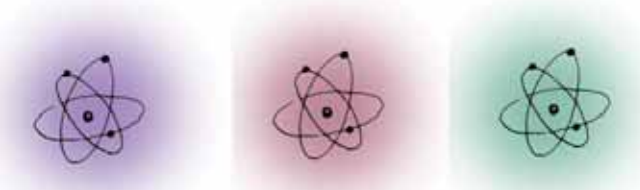
Pomysł Rutherforda tłumaczył to bardzo dobitnie: istnieją tak naprawdę tylko elektrony i jądra atomowe, które mają różne masy i ładunki (w tamtym czasie nie znano jeszcze struktury jądra atomowego i nie wiadomo z czego się składa). Tworzą one różne atomy, w zależności od tego, jakie jądro weźmiemy pod uwagę. Jeśli atom nie jest zjonizowany, to liczba elektronów jest automatycznie określona warunkiem, że ładunek jądra co do wartości jest taki sam jak ładunek wszystkich elektronów zawartych w atomie. Atom musi być bowiem elektrycznie obojętny. W związku z tym można powiedzieć, że cała informacja o własnościach atomów zawarta jest właśnie w tym, jakie weźmiemy jądro. Natomiast własności danego kawałka materii zależą od tego, jak owe atomy są w niej ułożone. I tak np. wiadomo dzięki temu, że **grafit** i **diament** to dwa różne ułożenia takich samych atomów **węgla**. Jeśli jeszcze dopuści się możliwość, że różne atomy mogą się formować w grupy, tworząc różne **cząsteczki**, to wydawałoby się, że stoi



przed nami otworem również zrozumienie struktur i procesów chemicznych. To działa na wyobraźnię każdego. Nie ma się więc co dziwić, że atom Rutherforda działał również na umysły niejednego fizyka na początku XX wieku.

KLASYCZNY ATOM - KLASYCZNY PROBLEM

Skoro nowy model miał stać się obowiązującą teorią fizyczną, wielu fizyków zaczęło się zastanawiać nad tym, jakie jeszcze informacje lub hipotezy można wyciągnąć z tej prostej konstrukcji myślowej. Pier-



wszym pytaniem, jakie narzuca się natychmiast, gdy myśli się o jądrze otoczonym elektronami, jest pytanie o trwałość takiego układu. Wiemy przecież, że dodatnio naładowane jądro i ujemnie naładowane elektrony będą wzajemnie oddziaływać ze sobą siłami elektrostatycznymi. W dodatku, ze względu na przeciwny znak ich ładunków, będą się one przyciągały. Z tego natychmiast wynika, że elektrony nie mogą pozostać w spoczynku względem jądra. Gdyby tak bowiem było, to elektrony natychmiast spadłyby na jądro i atom nie mógłby istnieć. Podstawowy problem to zatem problem stabilności atomu.

Już sam Rutherford zdawał sobie sprawę z tej zagadki i jako pierwszy podjął, jak się później okazało, nieudaną próbę jej rozwiązania. Problem jest całkowicie analogiczny do grawitacyjnego oddziaływania ciał. Zgodnie z prawem powszechnego ciężenia, sformułowanym przez Newtona, wszystkie ciała obdarzone masą się przyciągają. Przyciągają się zatem również wszystkie ciała tworzące nasz Układ Słoneczny. Dlaczego zatem planety nie spadają na Słońce? Odpowiedź jest oczywista: planety krążą wokół Słońca! Ruch planety wokół Słońca można sobie wyobrazić jako złożenie dwóch ruchów: spadku na Słońce i ruchu w kierunku prostopadłym do promienia łączącego Słońce z planetą. Jeśli tylko prędkość tego ruchu będzie odpowiednia, to planeta, choć będzie w ciągłym spadku na Słońce, ciągle będzie w takiej samej odległości od niego. Dlaczego? Kolokwialnie mówiąc: planeta o tyle spadnie w dół, o tyle akurat przesuśnie się w bok. Summa summarum będzie nadal w tej samej odległości, a tylko w innym miejscu kołowej orbity. Dodajmy na marginesie, że planety w ogólności krążą po orbitach eliptycznych, a nie kołowych. Używając jednak podobnych argumentów, można uzasadnić, że również w tym przypadku nigdy nie spadną na Słońce.

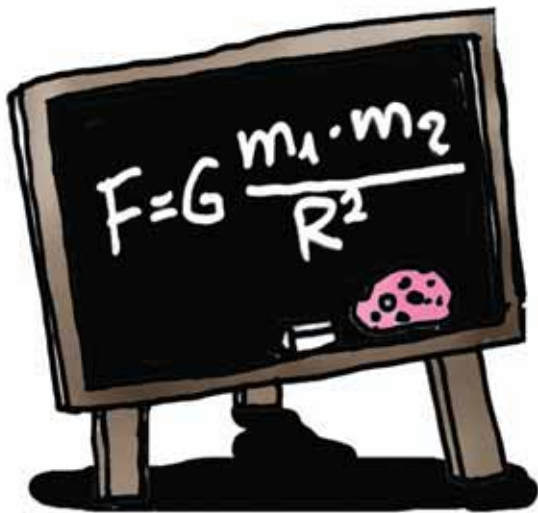
Pomysł Rutherforda polegał na tym, aby wykorzystać podobny mechanizm na potrzeby wytłumaczenia budowy atomu. Wiemy przecież, że prawo powszechnego ciężenia opisujące oddziaływanie mas ma swój niemal tożsamy odpowiednik dla oddziaływań elektrostatycznych, zwany prawem Coulomba. Zgodnie z tym prawem oddziaływanie elektrostatyczne pomiędzy dwoma ładunkami ma dokładnie taki sam charakter, jak oddziaływanie grawitacyjne ciał obdarzonych masą. Jedyną różnicą jest taka, że należy zamiast mas rozważać ładunki elektryczne. Najprościej widzimy to, wypisując wzory na siłę danego oddziaływania. Dla grawitacji wzór ma postać

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

gdzie m_1 i m_2 to masy oddziaływających ciał, R – odległość między nimi, a G to pewna stała, zwana stałą grawitacyjną. Wzór na siłę oddziaływania elektrostatycznego wynikający z prawa Coulomba ma natomiast postać

$$F = -k \frac{q_1 \cdot q_2}{R^2}$$

gdzie q_1 i q_2 to tym razem ładunki elektryczne oddziaływających ciał, R – podobnie jak poprzednio odległość między nimi, a k to pewna stała, zwana w tym przypadku stałą oddziaływania elektrostatycznego. Znak minus stojący w tym wzorze wyraża jedynie fakt, że ładunki jednoimiennie się odpychają, a różnoimiennie przyciągają. Jak widać analogia jest uderzająca.



Krótko mówiąc, atom wg koncepcji Rutherforda to taki mały układ planetarny, tylko że zamiast Słońca jest jądro, zamiast planet elektrony, a siła grawitacji jest zastąpiona przez siły elektrostatyczne. Ta piękna skądinąd koncepcja naukowa, że atomy to małe układy planetarne, tylko z pozoru wydaje się być prawidłowa. Okazuje się bowiem, że nawet gdyby tak było, że elektrony krążą wokół atomowych jąder, to niestety, ale atomy nadal nie mogłyby istnieć!

PRAWA MAXWELLA TO NIE GRAWITACJA!

Aby zrozumieć dlaczego tak prosty mechanizm, jaki działa w przypadku grawitacji, nie pozwala utrzymać elektronów na kołowych orbitach wokół jądra, musimy sobie przypomnieć, że oddziaływaniami elektromagnetycznymi rządzi nie tylko prawo Coulomba, ale aż cztery różne prawa, zwane **prawami Maxwella** (MT 04/06). Prawo Coulomba jest tylko szczególnym przypadkiem jednego z tych praw i tym samym nie tylko ono determinuje zachowanie się cząstek obdarzonych ładunkiem elektrycznym, w tym elektronów na orbitach atomowych.

Jak już kiedyś o tym opowiadaliśmy (MT 12/06), z praw Maxwella wynika, że jeśli tylko cząstka obdarzona ładunkiem elektrycznym nie porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, to będzie ona emitowała promieniowanie elektromagnetyczne. Na tej zasadzie działa np. antena radiowa – elektrony są w niej poruszane za pomocą zmiennego napięcia elektrycznego w jedną i drugą stronę i tym samym wytwarzają falę elektromagnetyczną.

Ta, jakby się wydawało bardzo użyteczna, własność ruchu cząstek naładowanych prowadzi do katastrofalnego wniosku, jeśli chodzi o model atomu Rutherforda. Skoro elektron ma się poruszać wokół

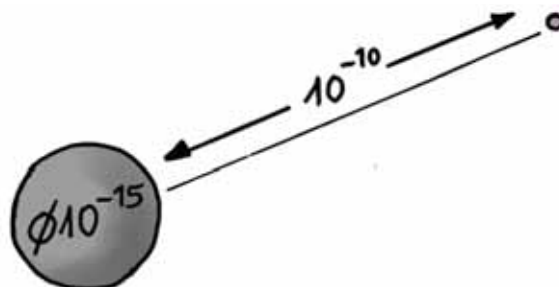


jądra atomowego po krzywym torze, to niewątpliwie porusza się on ruchem przyspieszonym. Ruch po okręgu jest to taki troszkę śmieszny ruch przyspieszony, bo wartość prędkości ma w nim stałą wartość! Jedyne, co się zmienia, to jej kierunek. Oznacza to ni mniej, ni więcej, tylko tyle, że przyspieszenie działa dokładnie prostopadle do prędkości elektronu na orbicie. Skoro jednak ruch jest przyspieszony, to nie ma żadnego ratunku przed tym, że tak poruszający się elektron będzie promieniował falą elektromagnetyczną.

Na pierwszy rzut oka wydaje się, że nie ma w tym nic strasznego. Ot, lata sobie elektron i wysyła promieniowanie. Można by rzec, że to nawet może i dobrze, bo czasami widzimy atomy promieniujące różnymi kolorami. Jednak nic bardziej mylnego! Jeśli atom promieniuje, a promieniowanie niesie energię, to skądś ta energia musi się brać. A jedyną energią, jaką ma do dyspozycji elektron, to jego energia kinetyczna związana z ruchem postępowym i energia potencjalna związana z oddziaływaniem z jądrem. Oznacza to po prostu, że jeśli elektron wyśle jakąś energię w postaci promieniowania, to musi się zmniejszyć jego energia kinetyczna lub potencjalna. Niezależnie od tego, która z nich się zmniejszy (choć można dokładnie rachunkiem pokazać, że zmniejszy się każdej po trochu), elektron po tym akcie będzie znajdował się bliżej jądra. Sytuacja taka będzie się powtarzała, bo ruch elektronu wokół jądra nigdy nie będzie jednostajny. Co tu dużo mówić: elektron promieniując falą elektromagnetyczną, będzie po spirali zbliżał się do jądra atomowego, aż w końcu dojdzie po prostu do zniszczenia całego atomu.

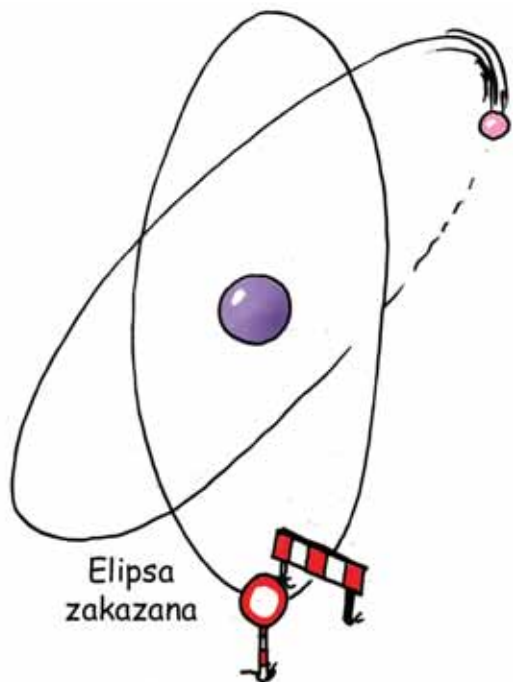
NO TO MAMY PROBLEM!

Opisany problem spadku elektronu na jądro wydaje się bardzo poważny, choć na samym początku nie przykładano do niego dużego znaczenia. Argumentowano, że zapewne czas spadania takiego elektronu na jądro jest bardzo, bardzo długi, tak że praktycznie atom istnieje wiecznie. Argument ten jednak szybko upadł, gdy wyliczono dokładnie, ile czasu zajmie elektronowi spadnięcie na jądro. Jeśli weźmie się pod uwagę fakt, że jądro w modelu Rutherforda jest kulką o średnicy ok. 10^{-15} m, a elektrony krążą wokół niego w odległości rzędu 10^{-10} m, to wyliczony czas



spadania wynosi $1/100000$ milisekundy. To całkowicie podważa argument o bardzo długim czasie spadku i sprawia, że problem nabiera naprawdę bardzo ważnego statusu.

Opisana powyżej zagadka była wyzwaniem na skalę zagadnienia promieniowania ciał (MT 12/06), który również wydawał się nie do przejścia dla fizyków przełomu XIX i XX wieku. Choć naukowcy potrafili obserwować i dokładnie mierzyć widmo promieniowania ciał, z rachunków teoretycznych opartych na prawach Maxwella wychodziło, że ciała te powinny promieniować zupełnie inaczej i w dodatku w cią-



gu każdej jednostki czasu emitować nieskończoną energię. Tutaj jest analogicznie. Choć mamy bezpośrednie dowody istnienia atomów, umiemy badać ich strukturę wewnętrzną i wiemy, że są one dość stabilne, z rachunków teoretycznych wynika, że atomy istnieć praktycznie nie mogą, bo nie można utrzymać ich wewnętrznej struktury.

MŁODY, ZDOLNY DUŃCZYK

Przypomnijmy, że rozwiązaniem problemu promieniowania ciał było przeprowadzenie diametralnej rewolucji w myśleniu, której dokonał Max Planck w 1900 roku. Idea Plancka polegała na założeniu, że promieniowanie elektromagnetyczne nie jest falą, jak wynika z teorii Maxwella, ale strumieniem małych cząstek (fotonów) Krótko mówiąc, trzeba było zaprzeczyć klasycznym prawom Maxwella.

Podobnie rewolucyjną koncepcję w dziedzinie spadku elektronu przeprowadził duński fizyk **Niels Bohr**, który nigdy nie ukrywał, że jest zwolennikiem szalonych pomysłów naukowych, które dają się weryfikować doświadczalnie. Zawsze jednak znał umiar w swoich pomysłach i miał wielki szacunek do wiedzy innych naukowców. Potrafił też nieraz się przyznać, że się myli. Dokąd jednak wydawało mu się, że ma rację, nigdy się nie poddawał. Szczególnie dobitnie odczuł to Albert Einstein, z którym Bohr prowadził

wieloletnią dyskusję na temat mechaniki kwantowej. Ostatecznie każdy z nich umarł ze swoim przekonaniem, ale historia pokazała, że to jednak Bohr miał rację.

Idea Bohra, która stała się lekarstwem na problem spadku, wychodzi z założenia, że skoro i tak prawa Maxwella nie zawsze dobrze działają, to może równie źle działają w przypadku atomów. Taki szalony pomysł może przyjść do głowy oczywiście tylko fizykowi, który bardzo dobrze rozumiał ówczesny stan wiedzy. Przewodnia myśl Bohra sprowadza się do następujących trzech postulatów – kompletnie sprzecznych z prawami Maxwella i zdrowym rozsądkiem:

1. Elektron może krążyć wokół jądra **tylko po niektórych** orbitach kołowych. **Inne trajektorie są zabronione** (Bohr podał przy tym jednoznaczny przepis na znajdowanie orbit dozwolonych).
2. Elektron, krążąc po dozwolonej **orbicie, nie wysyła promieniowania elektromagnetycznego**.
3. Elektron **może przeskakiwać** z jednej orbity dozwolonej na inną. Każdemu takiemu przeskokowi towarzyszy **wysłanie jednego fotonu** (jeśli przeskakuje na orbitę bliższą jądra) lub **pochłonięcie jednego fotonu** (jeśli przeskakuje na orbitę dalszą).

Na pierwszy rzut oka prawa te wydają się całkowicie niedorzeczne. Czy przyroda może być aż tak dziwna i działać w tak absurdalny sposób? To wydaje się jakimś czarowaniem, bo choć przyroda działa w jakiś sposób, to Bohr w przypadku atomu zabrania jej tak działać. Jak ten młody fizyk śmie pouczać przyrodę?

Nieuchronnie przychodzi sąd nad pomysłem Bohra. Trzeba koniecznie sprawdzić, co z tych bzdurnych postulatów Bohra wynika i udowodnić mu, że jest to sprzeczne z wynikami doświadczeń. Jego teoryjka nie ma szans z faktami doświadczalnymi! Czyżby? Zapraszam za miesiąc! ●



Sąd nad Borem